

Aula 03

DSc. Eng. Samuel Moreira Duarte Santos
Engenheiro Mecânico
CREA MG 106478D

Rio de Janeiro, 17 de abril 2023

Agenda

- Sistema motriz de bombeamento
- Curvas características do motor elétrico;
- Curva característica do sistema;
- Curva característica da bomba;
- Ponto de operação;
- Curvas do fabricante;
- Equações
- Bibliografia;

Sistema motoriz de bombeamento

Sistema motriz de bombeamento



Sistema motriz de bombeamento

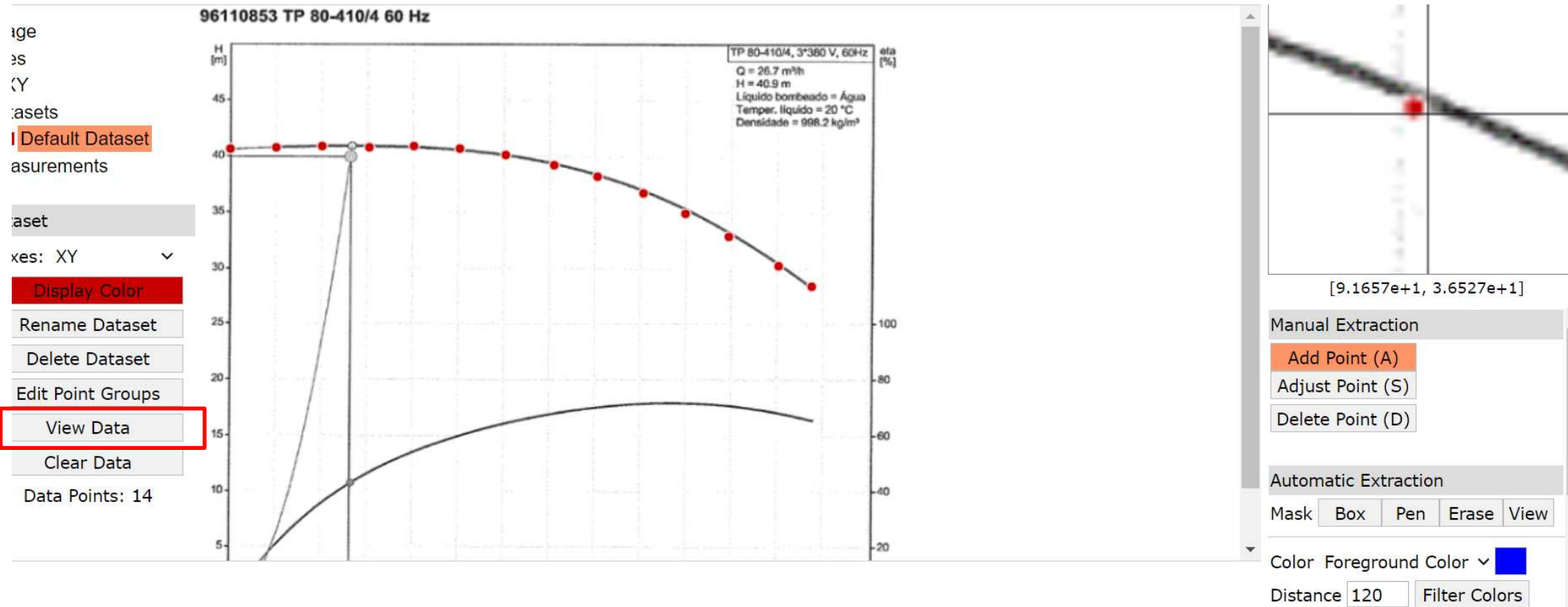


Sistema motriz de bombeamento



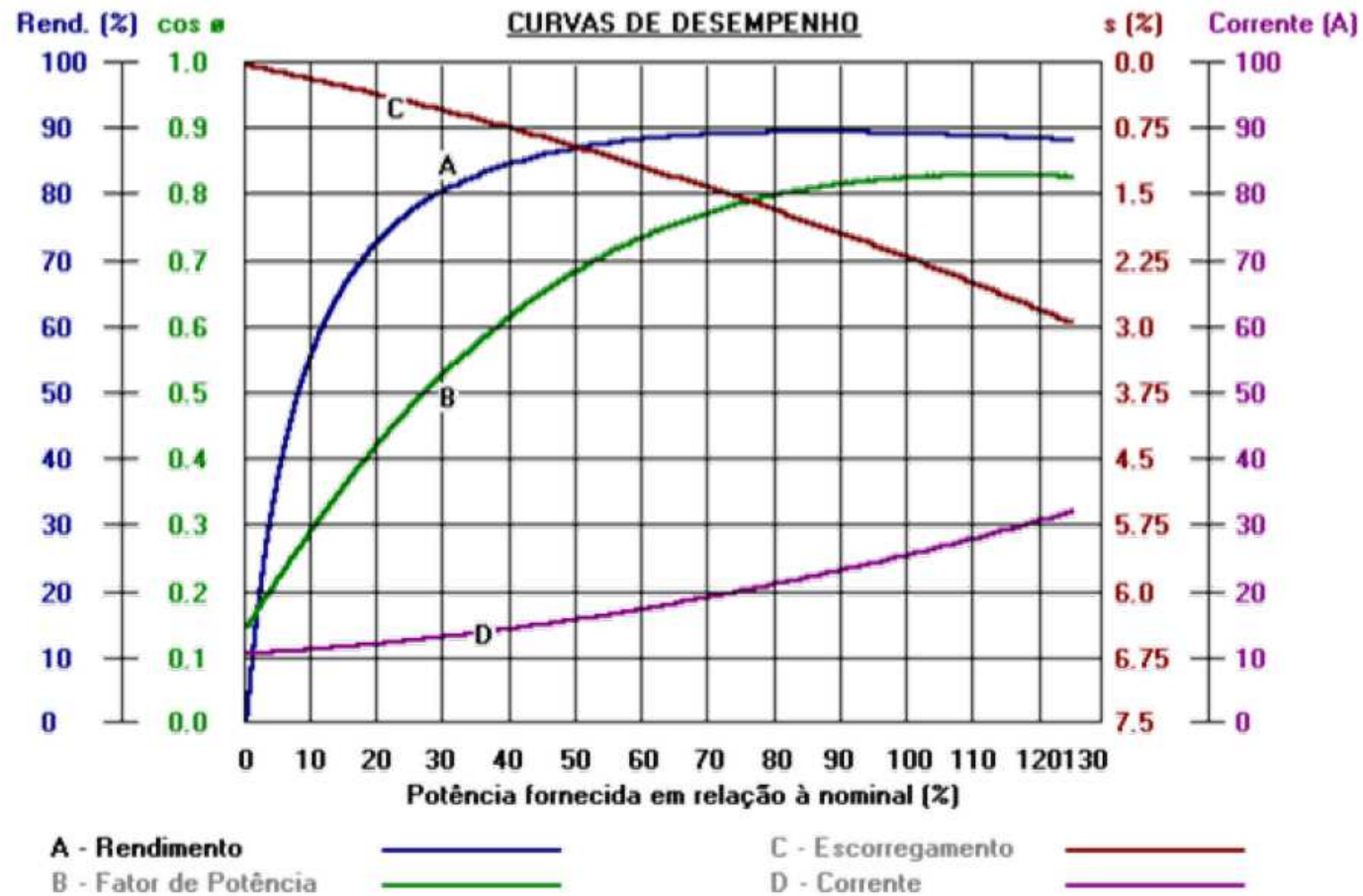
Curvas características

Curvas características



<https://apps.automeris.io/wpd/>

Curvas características do motor elétrico

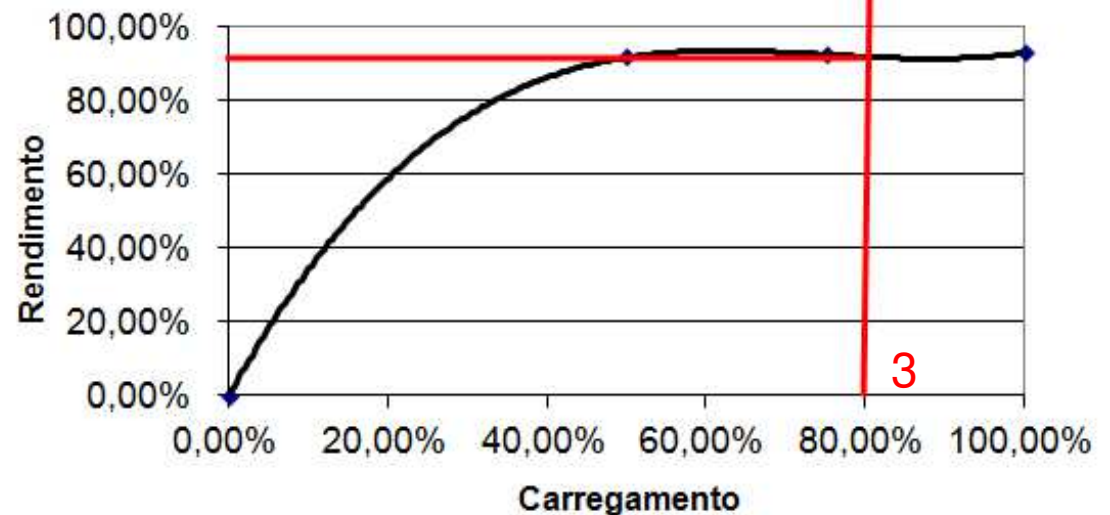
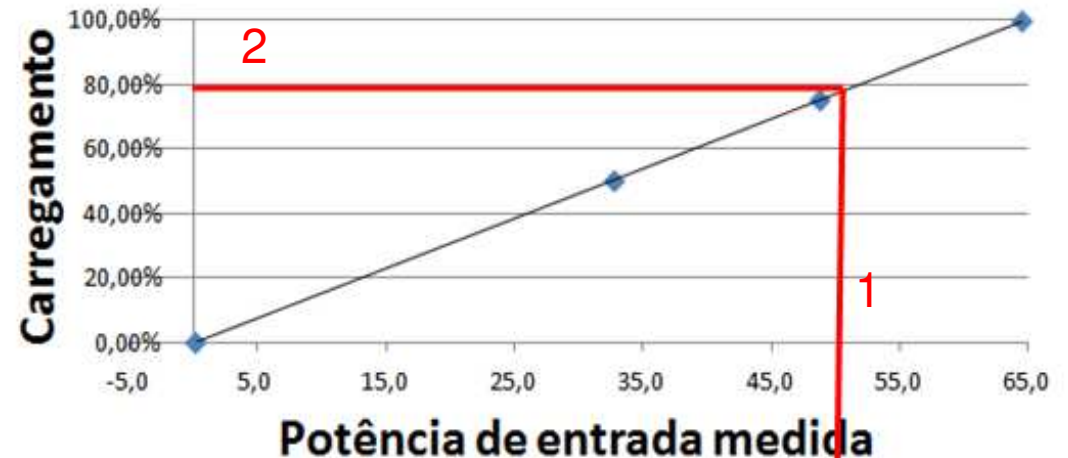


Curvas características do motor elétrico

Para obter o rendimento do motor elétrico utiliza-se a potência elétrica medida, obtém-se o carregamento e em seguida utilizando o gráfico rendimento x carregamento obtém-se o rendimento.

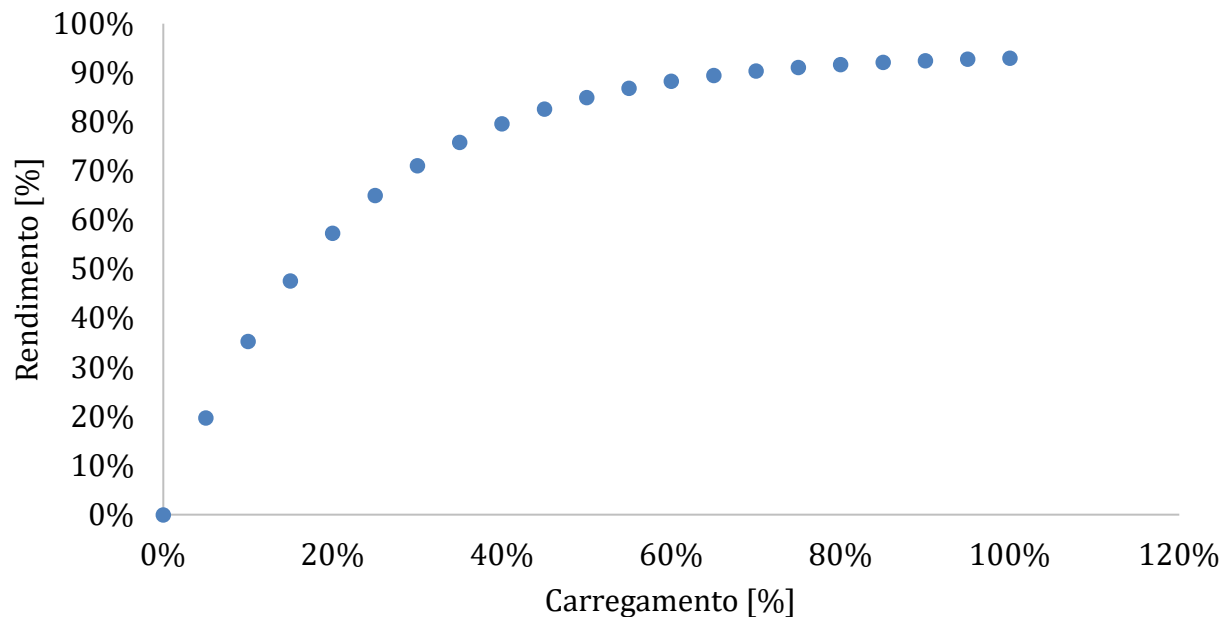
$$\gamma = \frac{P_{eixo}}{P_{nominal}}$$

$$\eta_{Motor} = \frac{P_{eixo}}{P_{Elétrica}}$$



Curvas características do motor elétrico

Carregamento	Rendimento
0%	0%
50%	85%
75%	90%
100%	93%



$$\eta = A(1 - e^{-a\gamma})$$

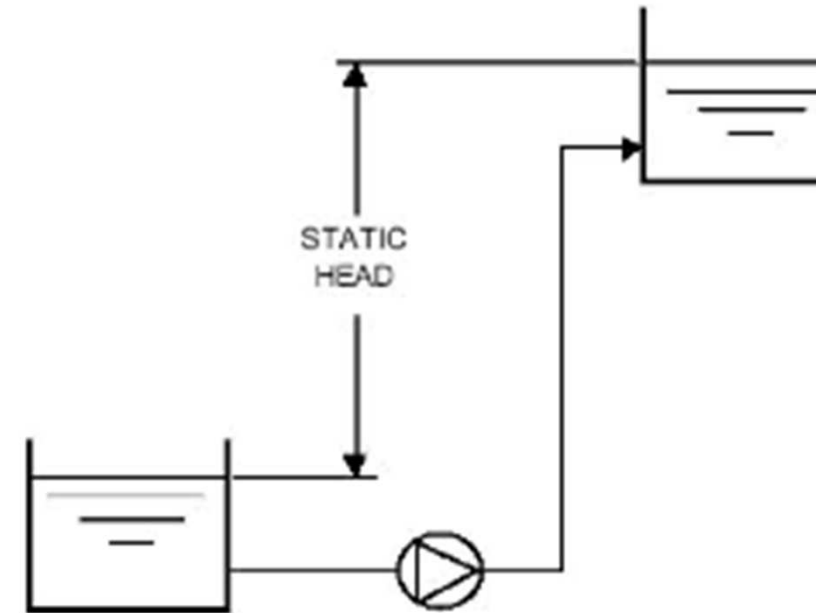
$$A = \frac{\eta_{50\%}}{2\eta_{50\%} - \eta_n}$$

$$a = -\ln\left(1 - \frac{\eta_n}{A}\right)$$

$$\gamma = \frac{P_{mec}}{P_{nom}}$$

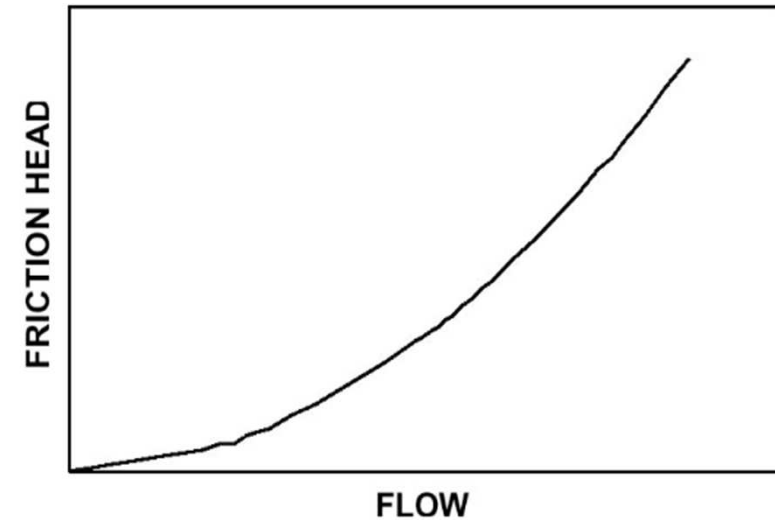
Curvas características sistema hidráulico

- Em um sistema de bombeamento, o objetivo, na maioria dos casos, :
 - Transferir um líquido de uma fonte para um destino necessário;
 - Encher um reservatório de nível elevado;
 - Fazer circular o líquido em torno de um sistema;
 - Meio de transferência de calor em trocador de calor;
- Uma pressão é necessária para fazer o líquido fluir na vazão necessária e isso deve superar as 'perdas' de carga no sistema;
- As perdas são de dois tipos: desnível geométrico e de atrito;
- O desnível geométrico é simplesmente a diferença de altura dos reservatórios de abastecimento e destino;
- O desnível geométrico é independente da vazão.



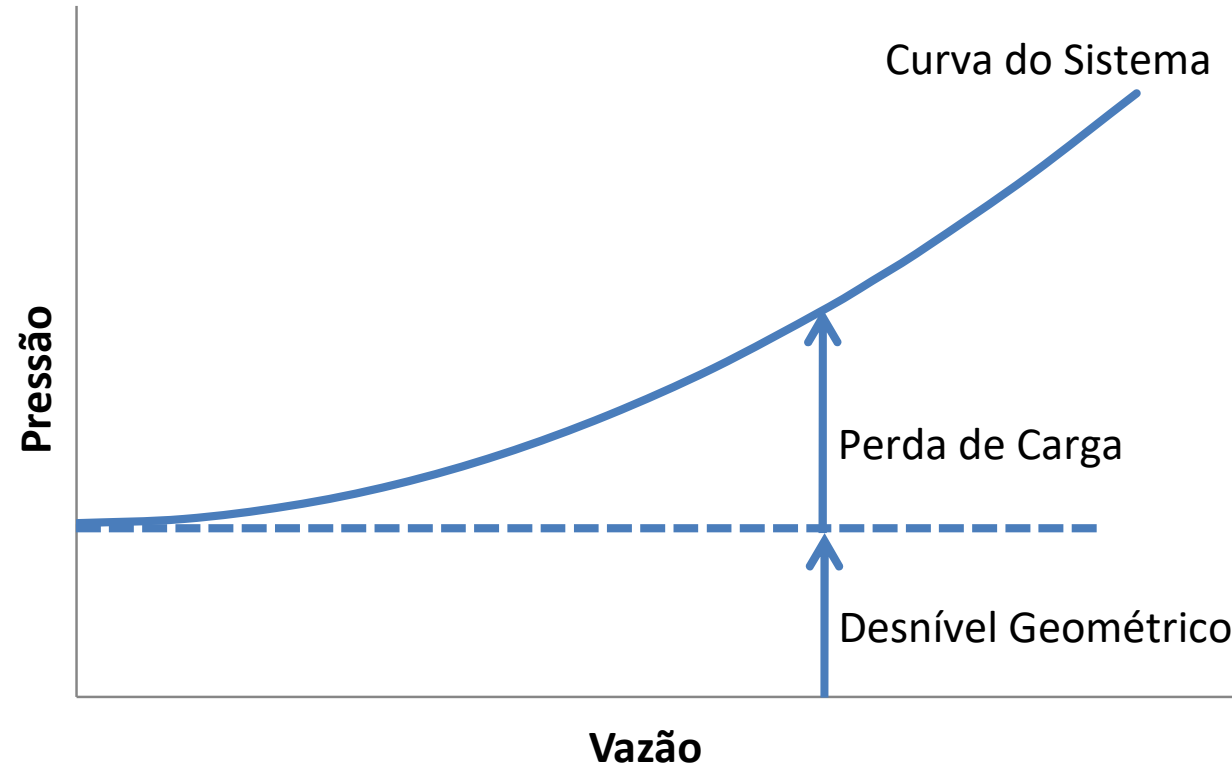
Curvas características sistema hidráulico

- A perda pelo atrito (às vezes chamada de perda de carga dinâmica) é a perda de fricção, no líquido que está sendo movido, em tubos, válvulas e equipamentos no sistema;
- As tabelas de perda de carga estão disponíveis universalmente para vários acessórios de tubos e válvulas;
- Essas tabelas mostram a perda por atrito por 100 metros de um tamanho de tubo específico em várias vazões;
- No caso de conexões, o atrito é declarado como um comprimento equivalente de tubo do mesmo tamanho; e
- As perdas por atrito são proporcionais ao quadrado da vazão.



Curvas características sistema hidráulico

- A maioria dos sistemas tem uma combinação ambas as perdas;
- O desnível geométrico é uma característica da instalação específica e a redução desta altura onde isso é possível geralmente ajuda tanto no custo da instalação quanto no custo de bombeamento do líquido;
- As perdas de carga devem ser minimizadas para reduzir o custo de bombeamento, mas depois de eliminar acessórios e comprimentos de tubos desnecessários, uma redução adicional exigirá um tubo de diâmetro maior, o que aumenta o custo de instalação.

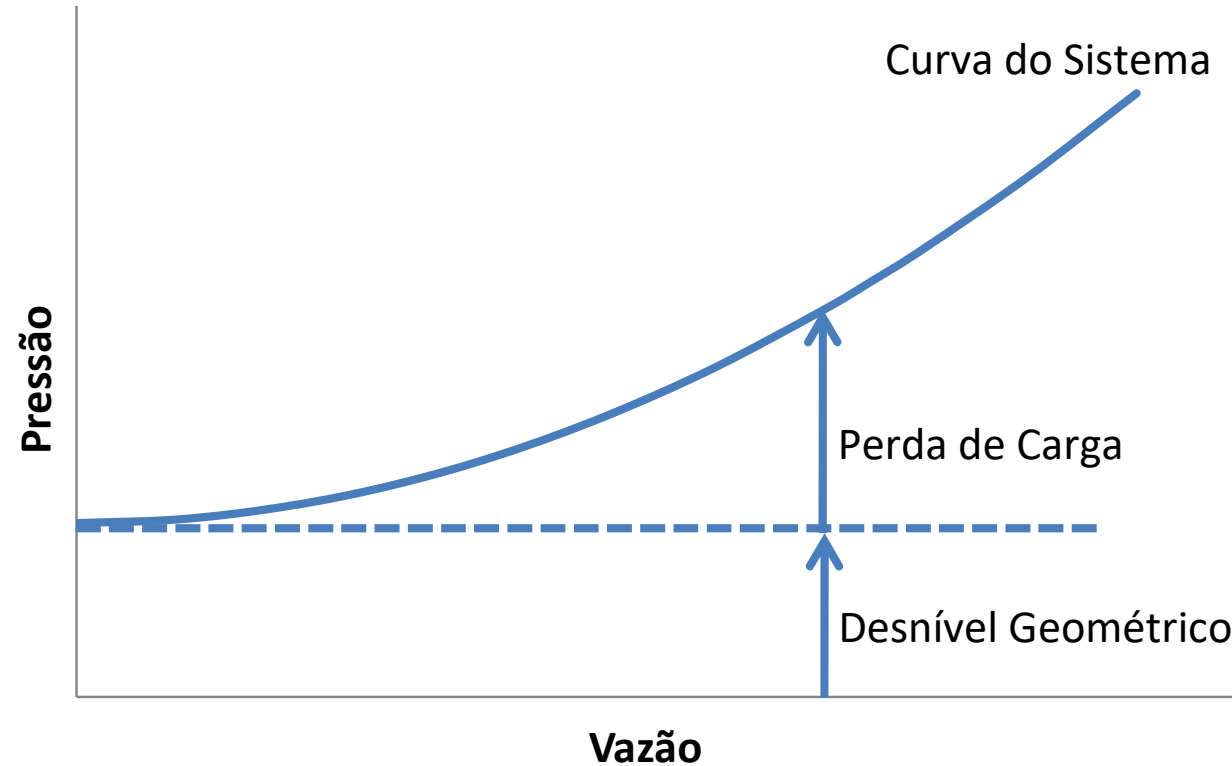


- Um erro no cálculo da curva do sistema também pode levar a uma seleção equivocada da bomba centrífuga;

Curvas características sistema hidráulico

Na prática, a curva do sistema determina o valor da pressão que a bomba deve fornecer ao sistema para atingir um determinado valor de vazão e pode ser expressa pela equação:

$$H_{sis} = H_g + \frac{(p_r - p_s)}{\gamma} + kQ^2$$



onde:

H_{man} é a pressão do sistema em (mca);

H_o é o desnível geométrico (mca);

p_r : pressão reservatório recalque;

p_s : pressão reservatório sucção;

k é a constante do sistema;

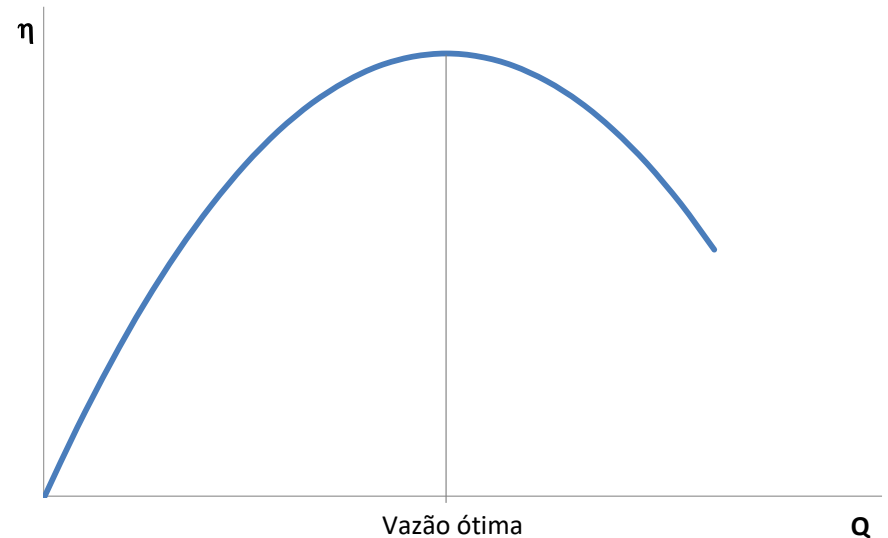
Q é a vazão do sistema em (m^3/h).

Curvas características da bomba

- A bomba transforma energia mecânica em energia hidráulica. Como em toda transformação de energia ocorre perdas, o rendimento de uma bomba pode ser obtido através da fórmula:

$$\eta = \frac{p_{Hid}}{P_{mec}}$$

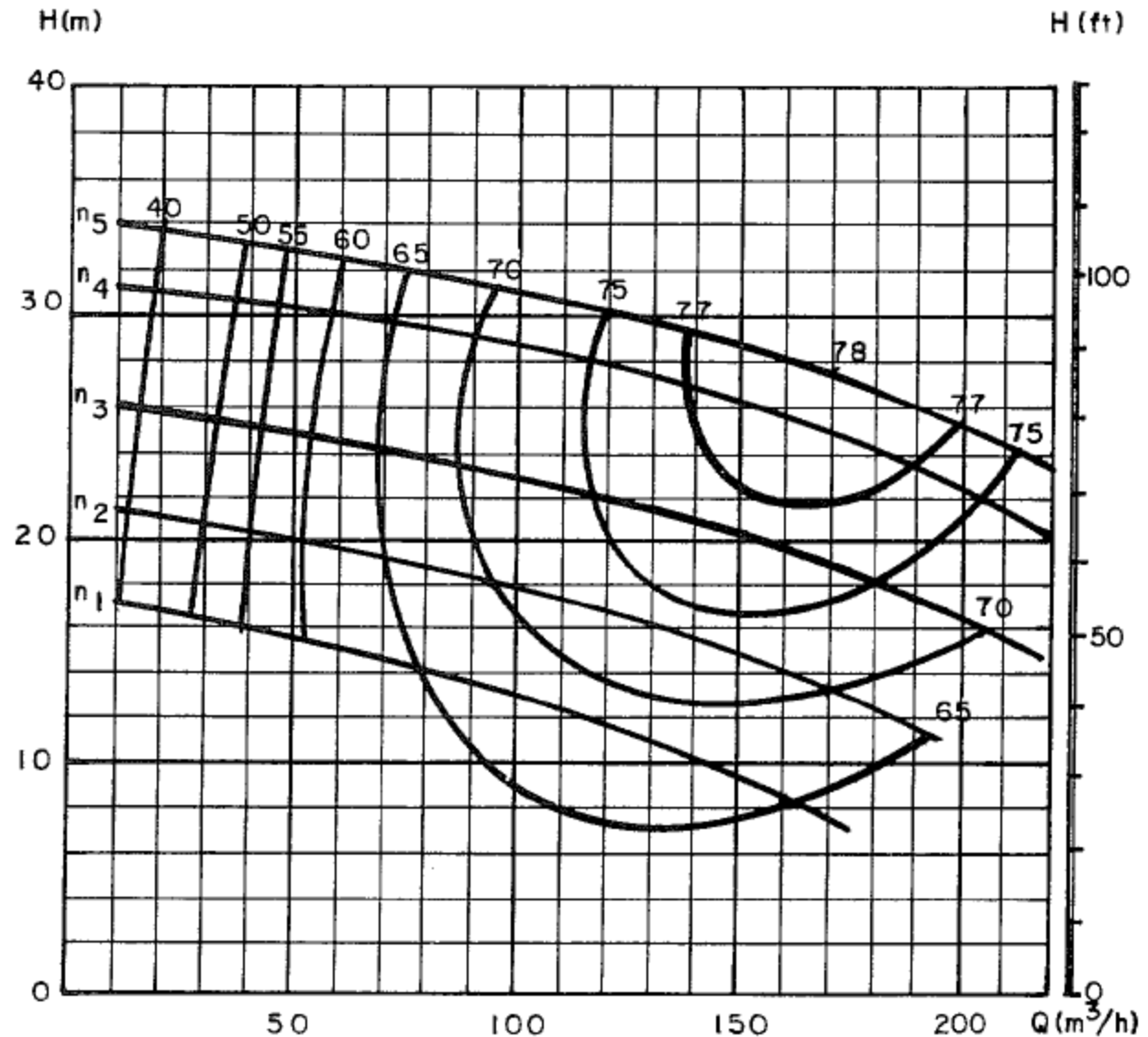
- O rendimento aumenta até atingir o ponto de vazão ótima, decrescendo a partir deste ponto, mesmo com o aumento da energia mecânica cedida à bomba e o aumento da vazão.



Cada bomba possui uma família de rotores para sua operação, variando o diâmetro de um máximo até um mínimo. O diâmetro máximo é limitado pelo espaço físico existente no interior da bomba e o mínimo é limitado hidraulicamente, caso contrário a bomba funcionaria com baixas vazões e pressões, baixos rendimentos etc.

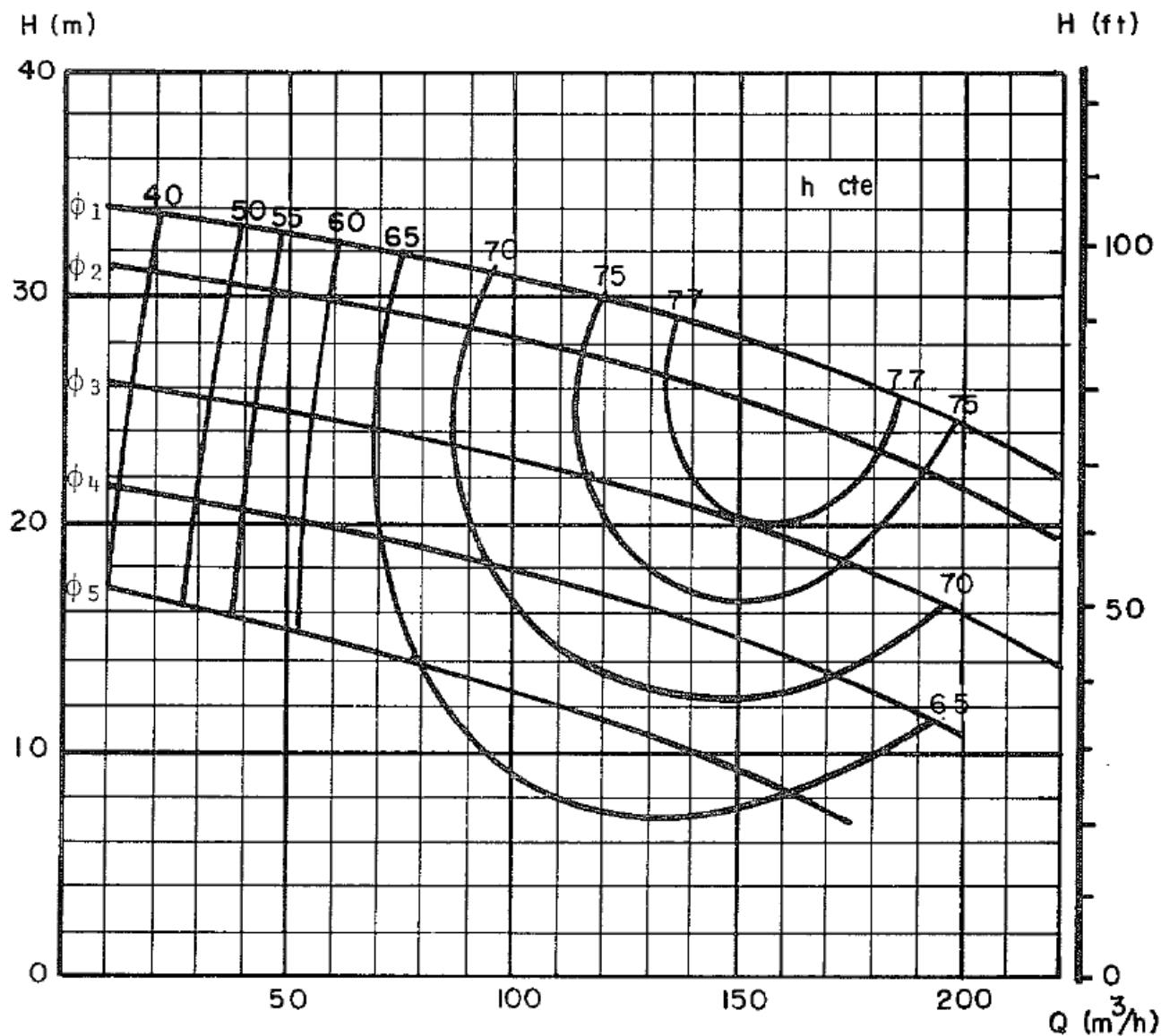
Curvas características da bomba

- **Curvas de isorendimento;**
- Os fabricantes disponibilizam catálogos relacionando as curvas das bombas conforme o diâmetro do rotor, em função da vazão e da pressão, com as curvas de rendimento da bomba para cada diâmetro em função da vazão;
- Cada rendimento comum entre os rotores é indicado graficamente, e formam as curvas de isorendimento.



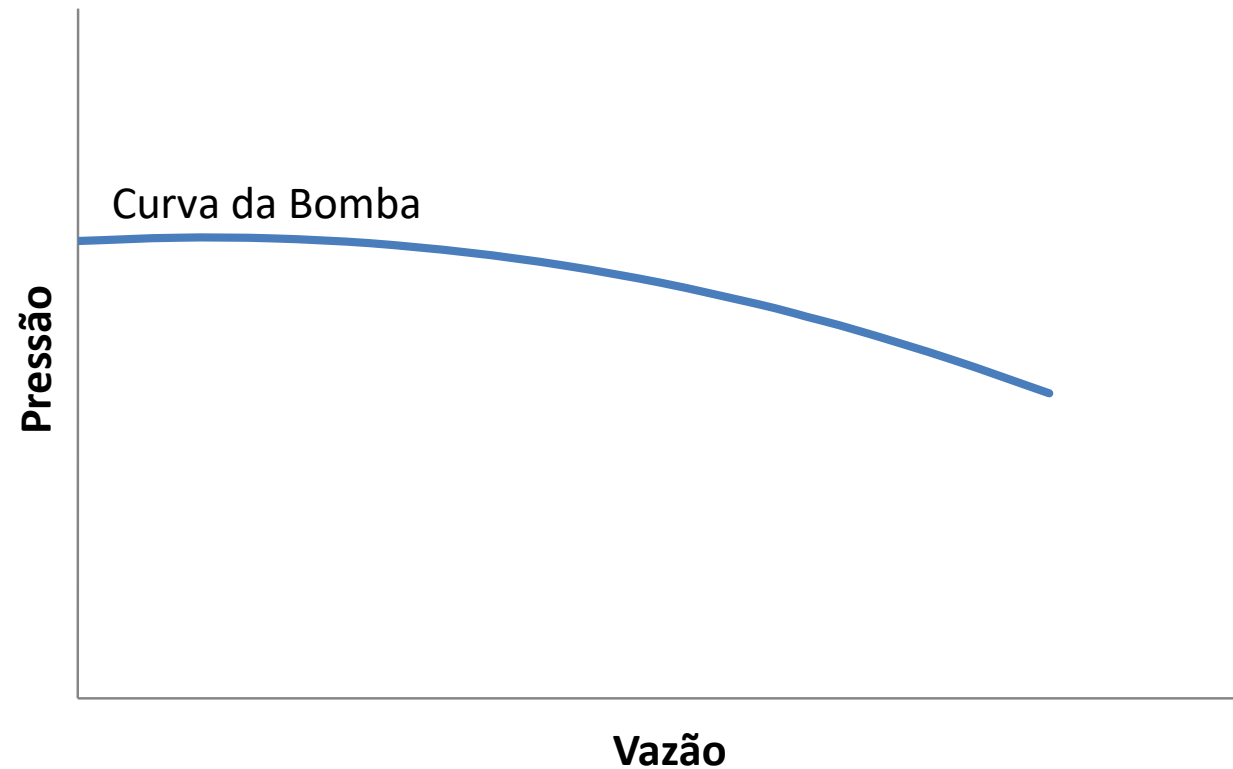
Curvas características da bomba

- O diâmetro tem sobre as curvas características a mesma influência que a variação de rotação (ambas influem linearmente na velocidade tangencial do rotor);
- Assim, ao invés de lançar mão da variação de rotação para ampliar o campo de emprego de uma bomba, o fabricante constrói a carcaça da bomba de forma tal que a mesma possa receber em seu interior, rotores de vários diâmetros, sem afetar sensivelmente a hidráulica do conjunto.



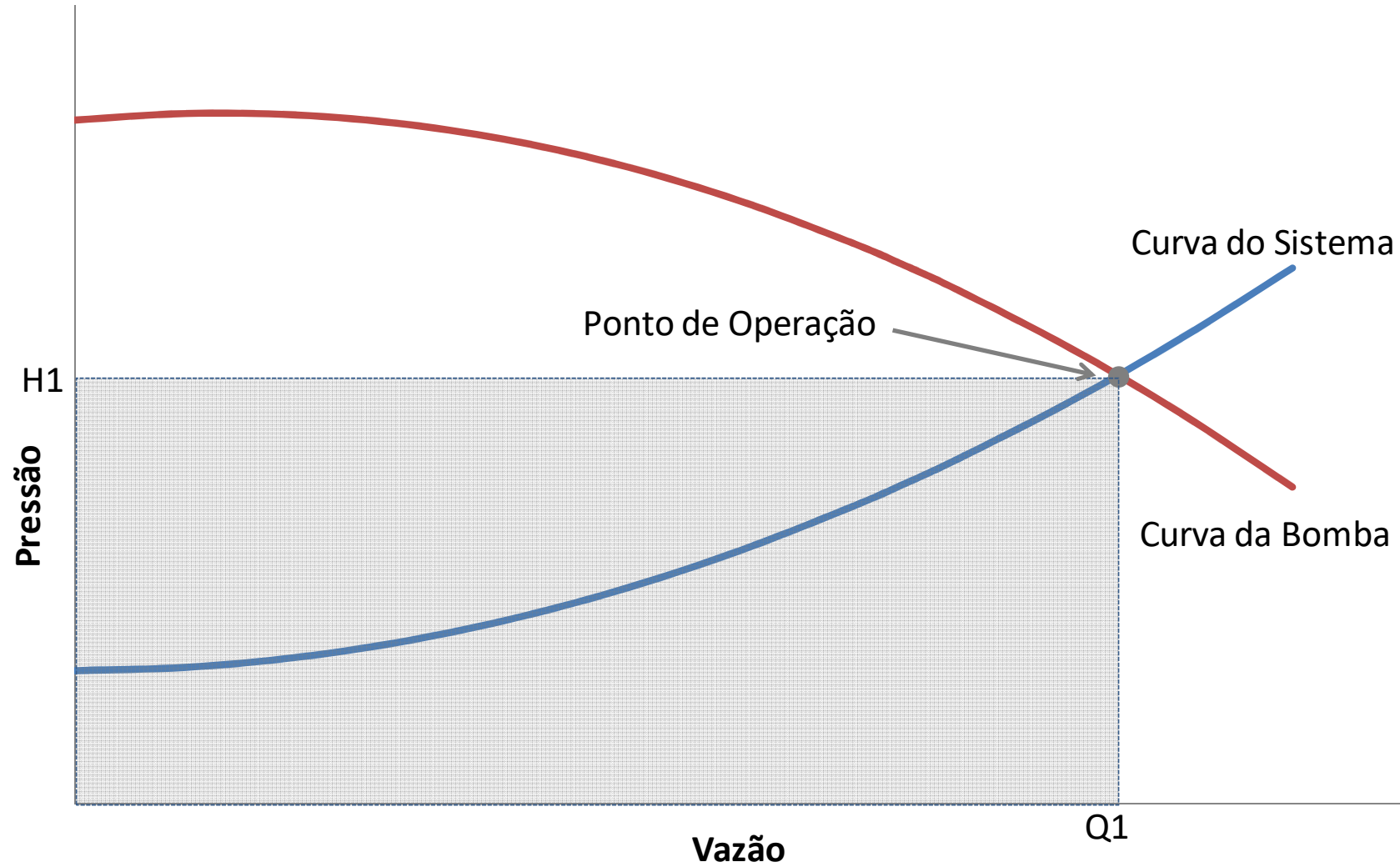
Curvas características da bomba

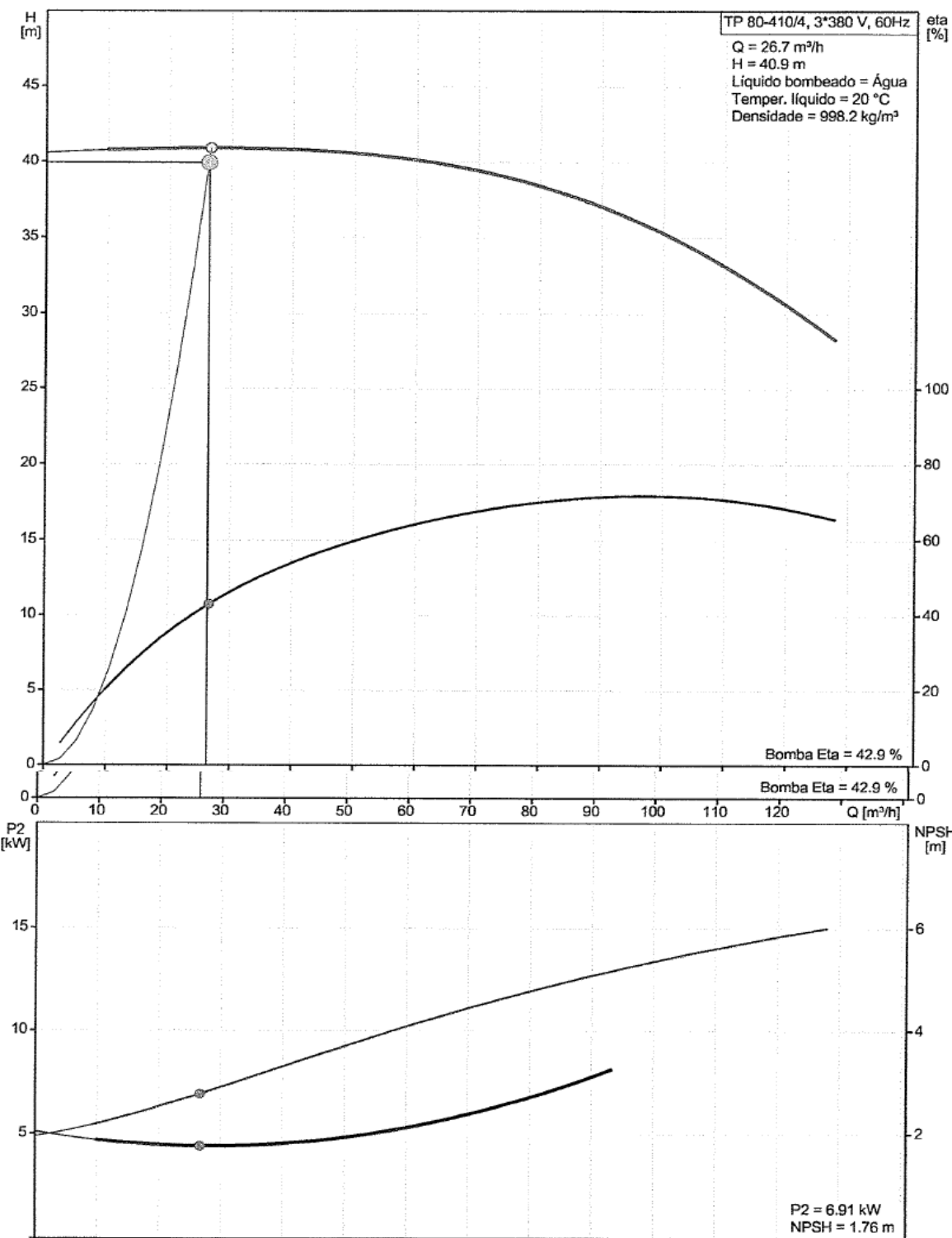
- O desempenho de uma bomba, em termos de pressão, pode ser expresso graficamente como altura manométrica em relação à vazão; e
- A bomba centrífuga tem uma curva em que a altura manométrica cai gradualmente com o aumento da vazão. Isso é chamado de curva característica da bomba .



- Para uma bomba centrífuga, um aumento da resistência do sistema reduzirá a vazão, eventualmente a zero, mas a pressão máxima;
- Mesmo assim, essa condição só é aceitável por um curto período sem causar problemas;

Ponto de operação





Curvas do fabricante

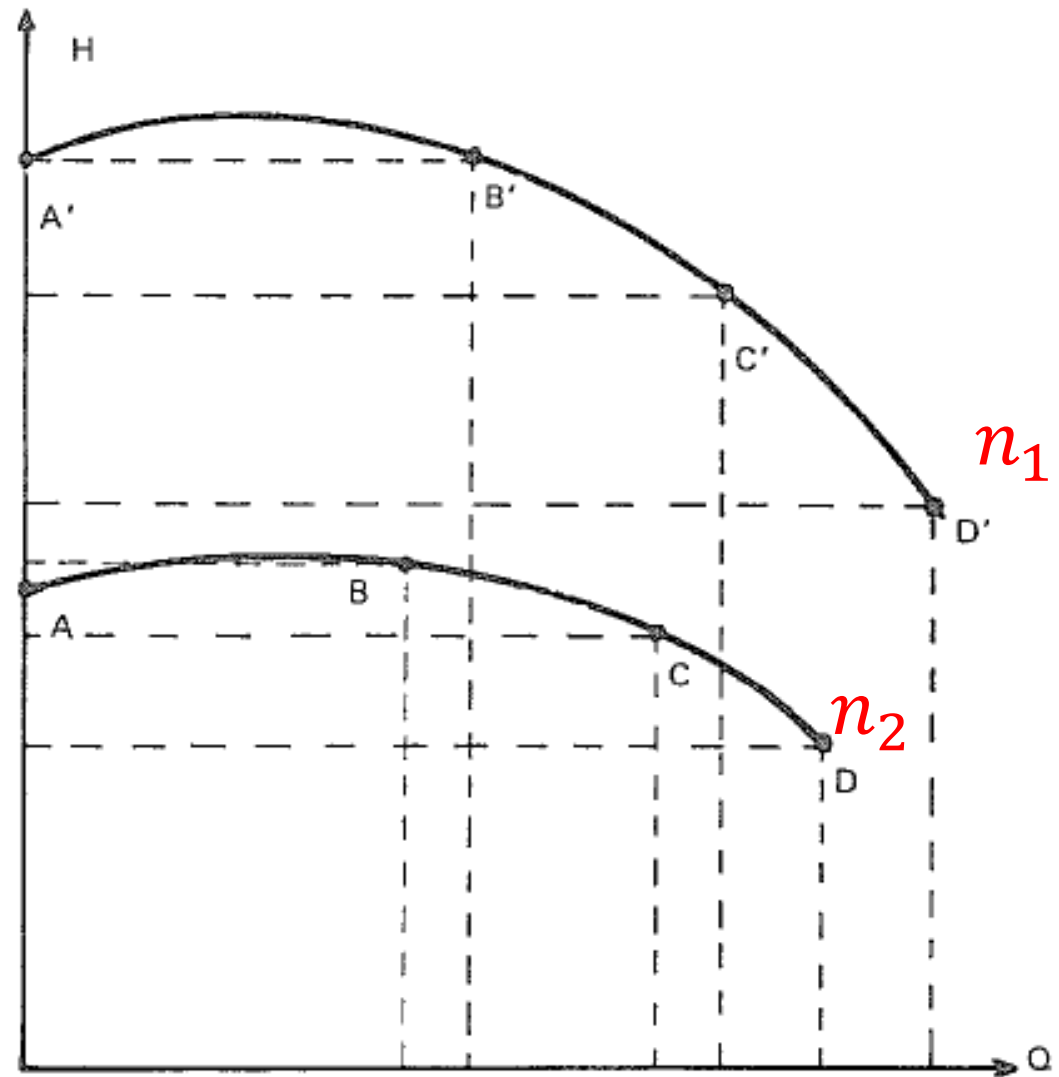
Leis de afinidade

Leis de afinidade

$$\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

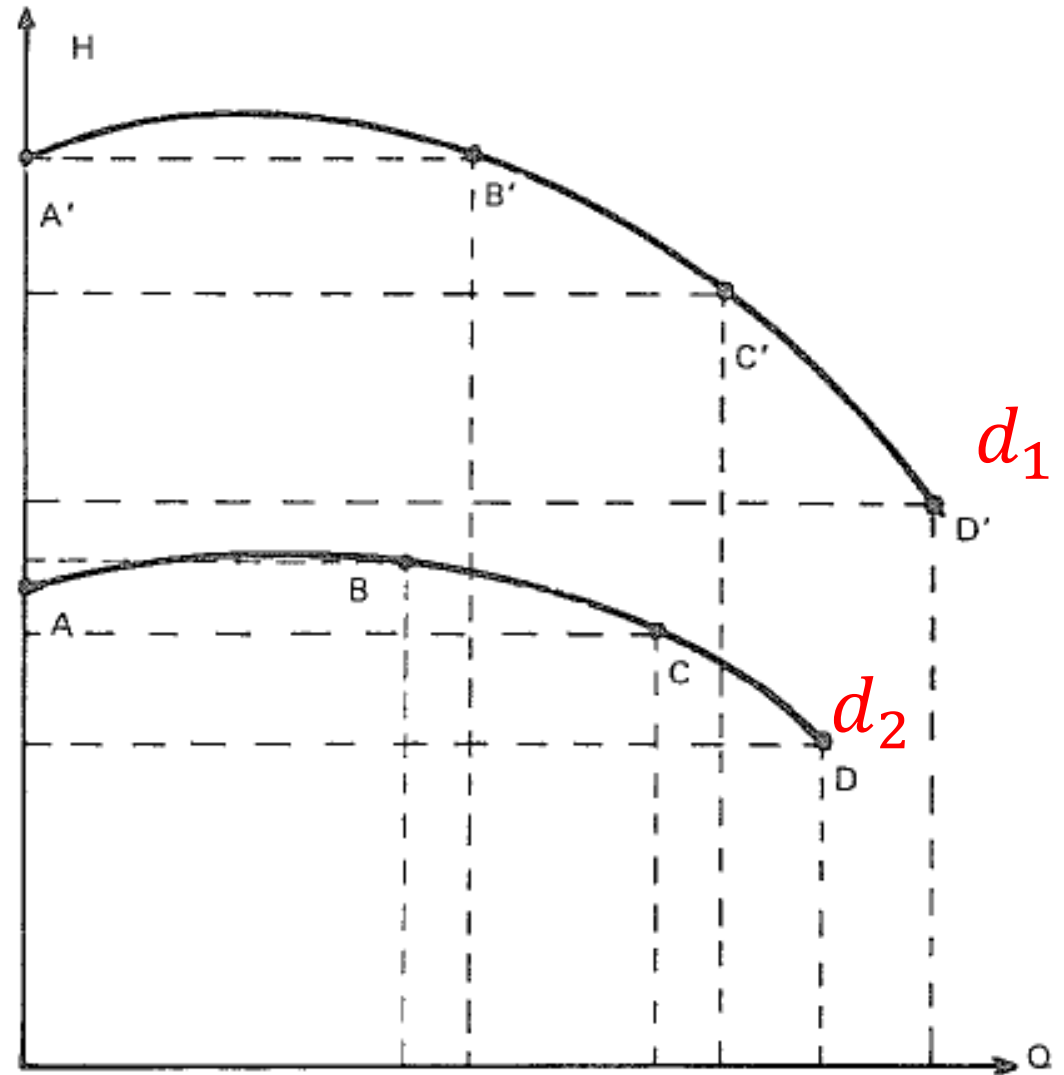
$$\left(\frac{H_2}{H_1}\right) = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$



Leis de afinidade

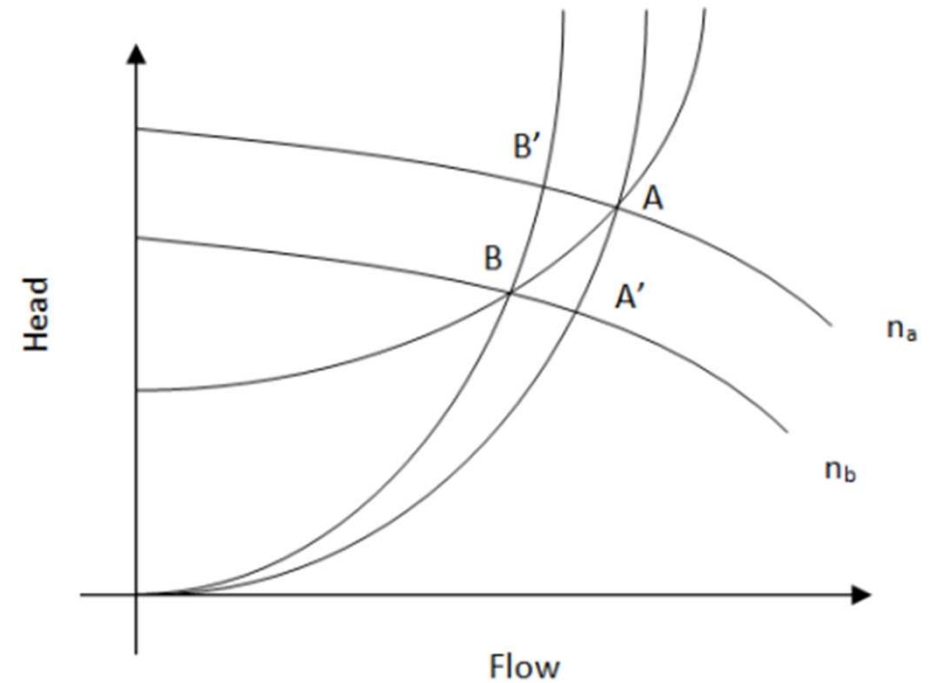
$$\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$



Pontos homólogos

$$\left(\frac{H_B}{H_A}\right) = \left(\frac{Q_B}{Q_A}\right)^2$$

$$\left(\frac{H_g + kQ_B^2}{H_g + kQ_A^2}\right) \neq \left(\frac{Q_B}{Q_A}\right)^2$$

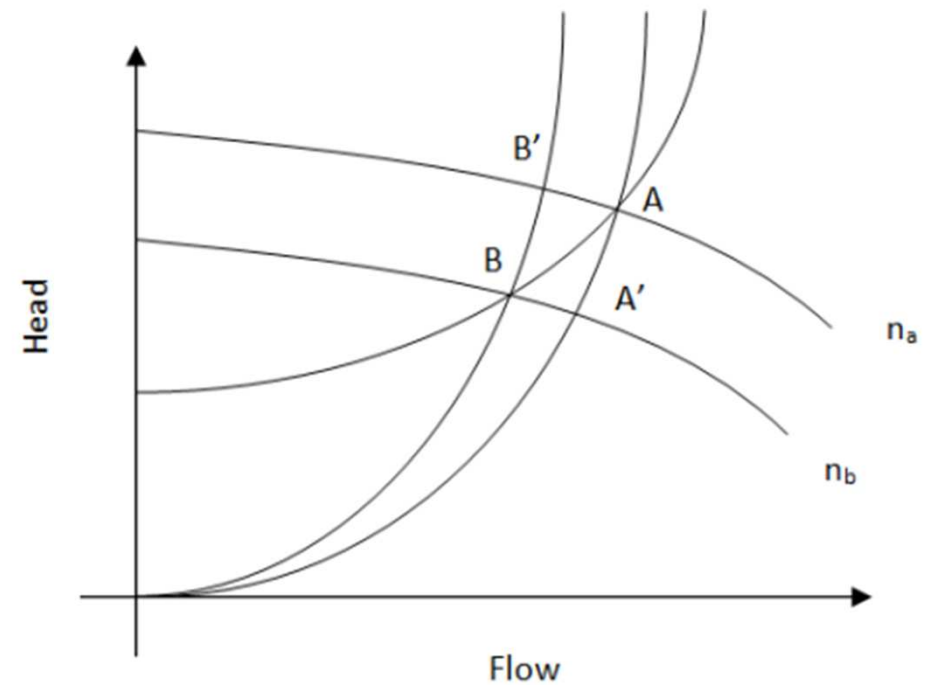


Pontos homólogos

$$\left(\frac{\eta_x}{\eta_{x'}}\right) = \left(\frac{\frac{\gamma Q_x H_x}{P_x}}{\frac{\gamma Q_{x'} H_{x'}}{P_{x'}}}\right)$$

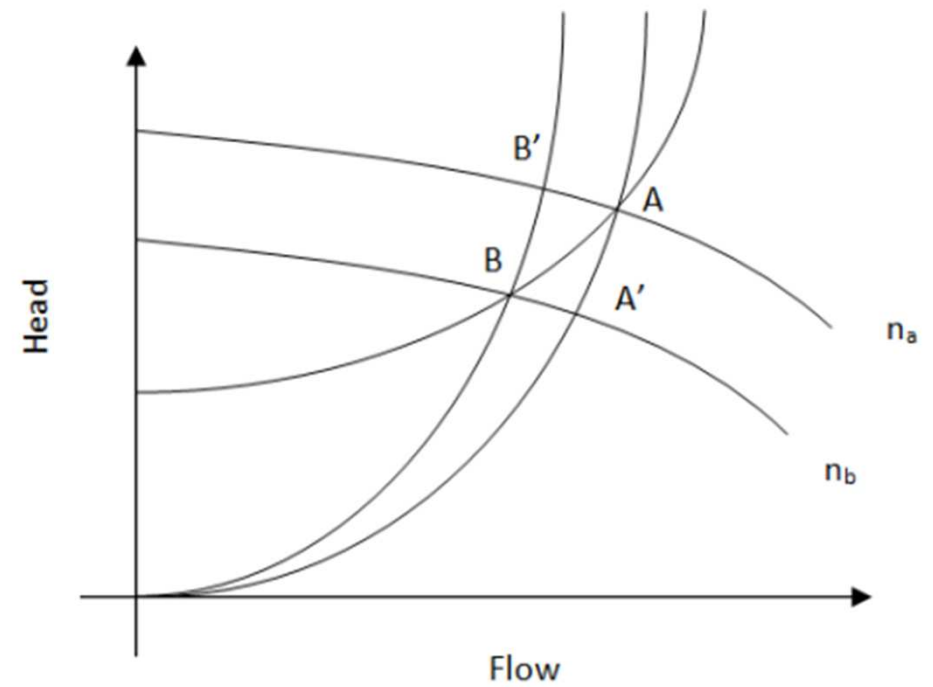
$$\left(\frac{\eta_x}{\eta_{x'}}\right) = \left(\frac{Q_x}{Q_{x'}}\right) \left(\frac{H_x}{H_{x'}}\right) \left(\frac{P_x}{P_{x'}}\right)$$

$$\left(\frac{\eta_x}{\eta_{x'}}\right) = \left(\frac{n_x}{n_{x'}}\right) \left(\frac{n_x}{n_{x'}}\right)^2 \left(\frac{n_x}{n_{x'}}\right)^3 = 1$$



Correção no rendimento

$$\eta_B = 1 - (1 - \eta_A) \left(\frac{n_B}{n_A} \right)$$



Bibliografia

Bibliografia

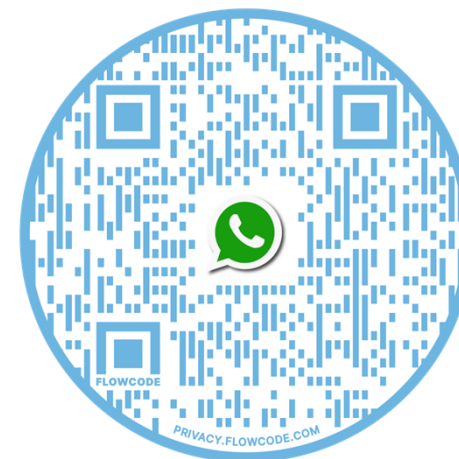
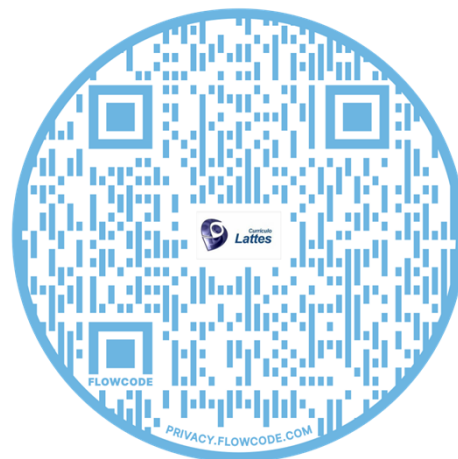
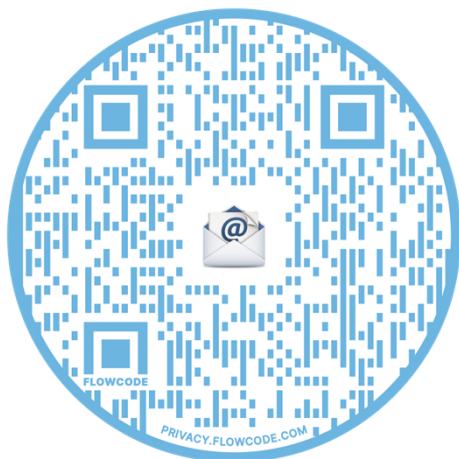
CARVALHO, Djalma Francisco. **Instalações elevatórias bombas**. Universidad Catolica Minas Gerais, 1979.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Bombas e instalações de bombeamento. **Rio de Janeiro: Guanabara Dois**, 1982.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A.; BUESA, Ignacio Apraiz. termodinâmica. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

G. Van Wylen, C. Borgnakke, and R. E. Sonntag. Fundamentos da Termodinâmica. Editora Edigar Blucher, 8ª edição, 2013.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D. Princípios de termodinâmica para engenharia . Grupo Gen-LTC, 2000.



DSc. Eng. Samuel Moreira Duarte Santos

CREA 106478D

samuelfmoreira@id.uff.br

(21) 980031100

<https://www.linkedin.com/in/samuel-moreira-a3669824/>

<http://lattes.cnpq.br/8103816816128546>